



⑲ Aktenzeichen: 199 57 370.0-45  
⑳ Anmeldetag: 29. 11. 1999  
㉑ Offenlegungstag: 13. 6. 2001  
㉒ Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: 7. 3. 2002

DE 199 57 370 C 2

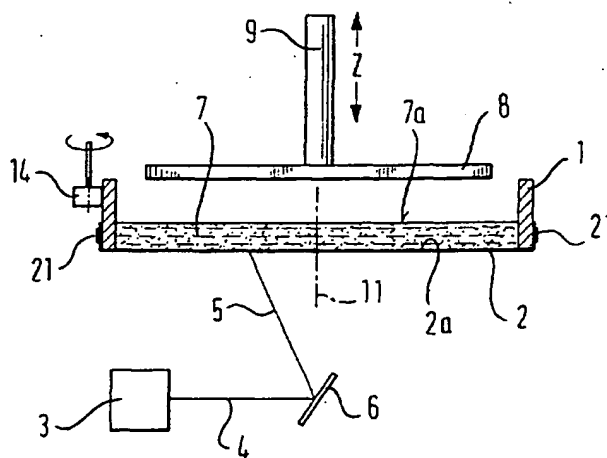
Innerhalb von 3 Monaten nach Veröffentlichung der Erteilung kann Einspruch erhoben werden

⑦③ Patentinhaber:  
Fruth, Carl Johannes, 92331 Parsberg, DE  
  
⑦④ Vertreter:  
Maiwald Patentanwalts-GmbH, 80335 München

⑦② Erfinder:  
gleich Patentinhaber  
  
⑤⑥ Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:  
US 51 64 128

⑤④ Verfahren und Vorrichtung zum Beschichten eines Substrates

⑤⑦ Verfahren zum Beschichten eines Substrats (8) mit einer oder mehreren dünnen Schichten (10) unter Verwendung einer Strahlungsquelle (3), bei dem  
a) ein Schichtrohmaterial (7) zwischen dem Substrat (8) und einer dem Substrat (8) gegenüberliegenden formveränderbaren Oberfläche (2a, 30a, 40a) eines Festkörpers (2, 30, 40) vorhanden ist,  
b) zumindest ein Teil des Schichtrohmaterials (7) durch geeignetes Einbringen von Strahlungsenergie (6) verändert wird und dadurch an dem Substrat (8) anhaftet und  
c) die nun am Substrat (8) anhaftende Schicht (10) von der formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) getrennt wird.



DE 199 57 370 C 2

## Beschreibung

## Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zum Beschichten eines Substrates mit einer oder mehreren dünnen Schichten unter Verwendung einer Strahlungsquelle. Bei derartigen Verfahren und Vorrichtungen wird durch die Strahlungsquelle ein Schichtrohmaterial durch die hierin eingebrachte Strahlung in irgendeiner Weise verändert, so dass das veränderte Schichtrohmaterial dann als Schicht am Substrat oder einer zuvor aufgetragenen Schicht haften bleibt. Indem die Strahlung in geeigneter Weise in die gewünschten Bereiche eingebracht wird, kann dabei ein irgendwie geartetes Muster erzeugt werden. Dabei ist auch die Schichtdicke einstellbar.

[0002] Ein derartiges Beschichtungsverfahren ist insbesondere zur Herstellung von dreidimensionalen Körpern verwendbar, indem mehrere dünne, individuell gestaltete Schichten aufeinanderfolgend erzeugt werden. So sind allgemein unter dem Begriff Rapid Prototyping entsprechende Verfahren zur Herstellung von Modellen bekannt. Auch die Stereolithographie ist hierunter zu subsumieren.

## Stand der Technik

[0003] Wie bereits eingangs erwähnt, sind Beschichtungsverfahren, bei denen mehrere Schichten aufeinanderfolgend hergestellt werden, indem die Strahlung einer Strahlungsquelle gezielt eingesetzt wird, um ein Schichtrohmaterial in irgendeiner Weise zu verändern, zur Herstellung von dreidimensionalen Körpern seit längerem bekannt. So ist aus der US 4,801,477 ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Herstellung von dreidimensionalen Körpern durch Photopolymerisation bekannt. Hier wird in einem flüssigen photopolymeren Kunststoff sukzessive durch eine in den flüssigen Kunststoff eingebrachte Strahlungsquelle auf einem gegenüberliegenden Substrat eine Schicht mit vorbestimmter Dicke erzeugt. Gegenüber den allgemein bekannten Stereolithographie-Verfahren ist hier besonders, dass die Photopolymerisation nicht an der freien Oberfläche des flüssigen Kunststoffs erfolgt, sondern in der Flüssigkeit. Dabei ist die Strahlungsquelle gegenüber dem Substrat sowohl in der Höhe wie auch in der XY-Richtung verstellbar, so dass durch Erzeugung vieler kleiner verfestigter Kunststoffabschnitte ein dreidimensionaler Körper aufgebaut werden kann.

[0004] Gegenüber der Erzeugung einer Veränderung des Schichtrohstoffes, hier dem flüssigen photopolymeren Kunststoff, an der freien Oberfläche des Kunststoffbades werden durch die unterhalb der Oberfläche des Kunststoffes bewirkte Verhärtung – beispielsweise radikalische Polymerisation für Acrylatharze, kationische Polymerisation für Epoxy- und Vinyletherharze – die oftmals bei der Photopolymerisation an der Oberfläche auftretenden Probleme, wie Schrumpfen und Abweichen von der Sollstellung, vermieden. Allerdings tritt hier dann das Problem auf, dass zwischen der transparenten Schicht zum Durchlass der Strahlung und dem gegenüberliegenden Substrat bzw. der zuvor erstellten Schicht die Verhärtung des Schichtrohmaterials erfolgt, so dass die transparente Schicht der Strahlungsquelle und die chemisch veränderte, verhärtete Kunststoffschicht fest aneinander haften. In der Praxis hat sich gezeigt, dass aufgrund dieses Effektes, der beispielsweise mit dem Haftungseffekt von zwei angefeuchteten, aneinander liegenden Platten vergleichbar ist, eine praxisgerechte Lösung für eine solche Vorrichtung bisher nicht möglich war. Zwar wird in der genannten US 4,801,477 dieses Haftungspro-

blem angesprochen und als vermeintliche Lösung angegeben, die transparente starre Schicht des Strahlers speziell zu beschichten, beispielsweise mit UHMW-Polyolefin oder fluorinierten Ethylen-Propylen-Copolymeren, wie beispielsweise verändertem Teflon, jedoch ist damit in der Praxis das Haftungsproblem nicht erfolgreich zu lösen.

[0005] In der US 5,164,128 ist eine Stereolithographiemaschine offenbart, bei der in einer Ausführungsform eine härtbare Flüssigkeit auf einer nicht mischbaren, schweren Flüssigkeit schwimmt. Durch die schwere Flüssigkeit hindurch wird mittels einer UV-Lichtquelle Energie in die härtbare Flüssigkeit eingebracht und diese dadurch in dem gewünschten Muster erhärtet. Somit werden aufeinanderfolgend verschiedene Schichten eines zu erzeugenden Substrats hergestellt, die aneinander haften. Nach jedem Belichtungsvorgang erfolgt ein Hochziehen des Substrats, wodurch sich die ausgehärteten Schichtteile von der schweren Flüssigkeit ablösen sollen. Zum einen ist hervorzuheben, dass nach diesseitiger Auffassung diese Ausführungsform nicht in die Praxis praktisch umsetzbar ist. So kann ein definiertes Aushärten bei dieser Ausführungsform mit einer Flüssigkeit als Zwischenschicht nicht genau genug erfolgen und es dürfte beim Hochziehen des Substrats zumindest für längere Zeit keine plane Oberfläche für den nächsten Belichtungsvorgang vorhanden sein. Wenn überhaupt eine in die Praxis umsetzbare Lösung möglich ist, bedarf es längerer Beruhigungsphasen, um wieder eine einwandfreie Schichtung der härtbaren Flüssigkeit und der schweren Flüssigkeit zu erzielen, was aber äußerst unwirtschaftlich ist.

[0006] Aus der US 5,089,184 ist darüber hinaus ein alternatives Verfahren zum Herstellen von dreidimensionalen Körpern aus mehreren Schichten unter Verwendung einer Strahlungsquelle bekannt, bei dem die Strahlung durch eine strahlungsdurchlässige starre Bodenfläche in einen flüssigen photopolymeren Kunststoff eingebracht wird. Gegenüber der strahlungsdurchlässigen Bodenfläche ist das Substrat angeordnet, an dem der dreidimensionale Körper aufgebaut wird. Das Substrat ist von der strahlungsdurchlässigen Bodenfläche in einem Abstand zu positionieren, dass der jeweils gewünschten herzustellenden Schichtdicke entspricht.

[0007] Aber auch hier tritt das zuvor erläuterte Haftungsproblem zwischen der starren Bodenfläche und dem Substrat bzw. einer darauf bereits aufgetragenen Schicht auf. Zur Lösung wird in diesem Fall vorgeschlagen, jeweils nur sehr kleine Bereiche einer Schicht herzustellen und nach jedem Bestrahlungsvorgang durch Vergrößern des Abstandes zwischen der Bodenfläche und der gerade hergestellten Schicht eine Trennung zu bewirken. Alternativ wird vorgeschlagen, die Bodenfläche insgesamt gegenüber dem Substrat um einen gewissen Winkelbetrag zu kippen. Die erste vermeintliche Lösungsalternative ist, wenn sie überhaupt in die Praxis umsetzbar ist, mit dem Problem behaftet, dass der Aufbau einer oder mehrerer Schichten sehr lange dauert, was die Herstellungskosten für einen mehrschichtigen Körper stark erhöht. Die zweite vermeintliche Lösungsalternative ist mit dem Problem behaftet, dass weiterhin große mechanische Kräfte auf das Substrat und die darauf anhaftenden Schichten wirken, was zum einen zur Beschädigung der Schichten führen kann, zum anderen die Genauigkeit eines zu fertigenden Bauteils beeinflussen kann.

[0008] Den zuvor erläuterten bekannten Verfahrensweisen und Vorrichtungen haben gemein, dass die an sich gegenüber einer Schichtherstellung an der freien Oberfläche eines Schichtrohmaterials günstigere Verfahrensweise nicht oder nur mit nicht akzeptablen Ergebnissen in die Praxis umsetzbar sind, weil der Abtrennvorgang zwischen der gerade hergestellten Schicht und der strahlungsdurchlässigen Gegen-

fläche bisher nicht beherrschbar ist.

#### Darstellung der Erfindung

[0009] Das der Erfindung zugrundeliegende technische Problem besteht darin, ein Verfahren und eine Vorrichtung der eingangs genannten Art dahingehend zu verbessern, dass ein leichter Abtrennvorgang zwischen der hergestellten Schicht und einer angrenzenden, gegenüberliegenden Oberfläche durchführbar ist.

[0010] Dieses technische Problem wird durch eine Verfahrensweise gemäß dem Anspruch 1 und eine Vorrichtung nach dem Anspruch 14 gelöst. Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren befindet sich das Schichtrohmaterial zwischen dem Substrat oder einer bereits auf dem Substrat aufgetragenen Schicht und einer dem Substrat gegenüberliegenden, formveränderbaren Oberfläche eines Festkörpers. Durch geeignetes Einbringen von Strahlungsenergie in das Schichtrohmaterial wird wie beim Stand der Technik zumindest ein Teil des Schichtrohmaterials verändert, wodurch es dann an dem Substrat bzw. der zuvor aufgetragenen Schicht anhaftet. Hiernach erfolgt ein Abtrennen des Substrates mit der gerade hergestellten und daran anhaftenden Schicht von der formveränderbaren Festkörperoberfläche, beispielsweise, indem das Substrat von der formveränderbaren Festkörperoberfläche weggezogen oder gegenüber dieser verdreht wird. Es wäre aber auch denkbar, vorzusehen, dass die formveränderbare Festkörperoberfläche von dem Substrat wegbewegt oder gegenüber diesem verdreht wird. Alternativ ist auch eine Kombination dieser zwei Bewegungen möglich.

[0011] Das Schichtrohmaterial kann sowohl ein flüssiges, festes oder gasförmiges Material sein. Diese Materialien sind bereits im Stand der Technik hinlänglich bekannt. Die entsprechenden Verfahren werden unter dem Oberbegriff Rapid Prototyping als u. a. Stereolithographie, Selektives Lasersintern, Fused Deposition Modelling und Laminated Object Manufacturing bezeichnet. Auf all diese bekannten Verfahren wird hier ausdrücklich Bezug genommen. Auf eine ausführliche Erläuterung dieser bekannten Verfahren wird aber zur Vermeidung unnötiger Wiederholungen verzichtet.

[0012] Der Erfindung liegt der Gedanke zugrunde, anstatt – wie beim Stand der Technik – eine starre Oberfläche oder eine in der Praxis problembehaftete Flüssigkeit als Gegenseite zum Substrat vorzusehen, eine formveränderbare Festkörperoberfläche einzusetzen. Durch die veränderbare Form bzw. Geometrie der Festkörperoberfläche, insbesondere einem flexiblen Schichtelement mit entsprechend veränderbarer Oberflächenform, ist es erstmals möglich, eine neu hergestellte Schicht leichter von der zur Festlegung der Schichtdicke und/oder der Schichtform der zu erzeugenden Schicht dienenden Festkörperoberfläche abzulösen. Das heißt, eine flexible Festkörperoberfläche ermöglicht einen problemlosen Trennvorgang. Wie bereits erwähnt, ist es mit dem neuen Verfahren gemäß der Erfindung zudem auch optional möglich, die Schichtform – anders gesagt deren Querschnittsgeometrie oder allgemein das Relief einer neuen Schicht – vorab durch entsprechende Reliefgestaltung der formveränderbaren Festkörperoberfläche festzulegen. Damit ist also erstmals eine Schicht mit unterschiedlichen Dicken herstellbar. Dabei wird vorteilhafterweise die Energie der Strahlungsquelle je nach der Dicke des jeweiligen Schichtbereichs variiert. So sollte beim Einsatz eines Lasers, bei größerer Schichtdicke die Energie erhöht werden, entsprechend bei geringerer Schichtdicke des herzustellenden Schichtbereichs dessen Energie reduziert werden. Es sei hier nochmals herausgestellt, dass damit erstmals nicht nur

plane Schichten mit gleichmäßiger Dicke herstellbar sind, sondern auch Schichten mit beliebiger Oberflächengeometrie. Für den Fall, dass Bereiche in der herzustellenden Schicht leer, d. h. nicht mit Schichtmaterial gefüllt, sein sollen, ist dies mit dem neuen Verfahren problemlos realisierbar. Dazu wird einfach in dem entsprechenden Bereich ein reeller Kontakt zwischen dem Substrat oder einer bereits hieran anhaftenden Schicht und der formveränderbaren Festkörperoberfläche hergestellt. Dies geschieht optimalerweise dadurch, dass die flexible Festkörperoberfläche in dem später gewünschten Freiraum eine Erhöhung bzw. Auswölbung aufweist, die also im Querschnitt gesehen gegenüber benachbarten Oberflächenbereichen vorstehen.

[0013] Damit erweitert sich das mögliche Einsatzspektrum eines erfindungsgemäßen Verfahrens bedeutend. Beispielsweise könnten so u. a. auch Platinen oder dergleichen bearbeitet oder hergestellt werden, indem die entsprechenden Muster mit den erforderlichen Tiefen geschaffen werden.

[0014] Die Erfindung erlaubt auch erstmals den Einsatz von Schichtrohmaterialien, die sich aus unterschiedlichen Substanzen zusammensetzen, die wiederum unter verschiedenen Bedingungen veränderbar, insbesondere aushärtbar sind. Beispielsweise wäre es denkbar, irgendeinen flüssigen photopolymeren Kunststoff mit thermoplastischen Bestandteilen zu vermischen, so dass dann mit verschiedenen Strahlungsquellen die verschiedenen Substanzen in unterschiedlichen Bereichen der herzustellenden Schicht geschaffen werden können. Insbesondere ist für ein erfindungsgemäßes Verfahren eine Folie oder eine Membran einsetzbar, die flexibel und/oder elastisch aus ihrer ursprünglichen Lage, wie sie während der Herstellung der Schicht eingenommen ist, auslenkbar ist und dabei ihre ursprüngliche Oberflächenform verändert. So eine Folie kann beispielsweise aus Silikon, Polyethylen oder PVC bestehen oder zumindest hiermit beschichtet sein. Es ist selbstverständlich auch ein anderer dreidimensionaler Festkörper hierfür einsetzbar, dessen irgendwie geometrisch geartete Festkörperoberfläche kurzzeitig nachgiebig, flexibel oder irgendwie formveränderbar ist. Kern der vorliegenden Erfindung ist also die spezielle Wahl der Festkörperoberfläche, die dem Substrat gegenüberliegt und die zusammen mit dem Substrat oder einer bereits zuvor erstellten Schicht die Schichtdicke und/oder die Schichtoberflächenform der zu erzeugenden Schicht aus Schichtrohmaterial festlegt. Zum Beispiel nimmt die Oberfläche des Festkörpers beim Trennvorgang kurzzeitig eine andere Form ein, die sich von der ursprünglichen unterscheidet. So wird eine Folie im Querschnitt gesehen beispielsweise um einen gewissen Betrag ausgelenkt und löst sich dadurch nach und nach von der daran anhaftenden, gerade hergestellten Schicht ab, wird aber nach einem vollständigen Ablösen der Schicht vorteilhafterweise wieder ihre ursprüngliche Lage und Form einnehmen.

[0015] Selbstverständlich ist es auch möglich, anstatt des Substrates die formveränderbare Festkörperoberfläche zu bewegen oder beide Teile in einander entgegengesetzte Richtungen zu bewegen oder gegeneinander zu verdrehen. Bei all diesen Trennvorgängen ist wesentlich, dass die Festkörperoberfläche in ihrer Form veränderbar ist, also ihre ursprüngliche geometrische Form verändert, um den Trennvorgang zu erleichtern. Sie kann, muss aber nicht mehr in die ursprüngliche Lage zurück kehren.

[0016] Das erfindungsgemäße Verfahren wie auch die erfindungsgemäße Vorrichtung arbeiten grundsätzlich nach den Verfahren, wie sie bereits im Stand der Technik bekannt sind und insbesondere zuvor erläutert wurden. All diese bekannten Verfahren sind aber dahingehend modifiziert, dass nun keine starre abzulösende Oberfläche vorhanden ist, son-

dem eine formveränderbare oder in ihrer Geometrie veränderbare Festkörperoberfläche eingesetzt wird.

[0017] Insbesondere ist das erfindungsgemäße Verfahren mit einer Folie durchführbar, die faltenfrei gespannt ist und beim Trennvorgang um einen gewissen Betrag aus ihrer ursprünglichen Ebene ausgelenkt wird. Vorteilhafterweise ist diese Folie natürlich dann auch wie beim eingangs genannten Stand der Technik beschichtet, um die Haftung weiter herunterzusetzen. Das erfindungsgemäße Verfahren lässt sich auch sowohl mit einem Laser, dessen Laserstrahl in bekannter Weise durch Spiegel oder dergleichen abgelenkt wird, durchführen, jedoch sind auch andere Strahlungsquellen einsetzbar. Die jeweilige Strahlungsquelle richtet sich natürlich nach dem verwendeten Schichtrohmaterial.

[0018] Das heißt, das Verfahren lässt sich nicht nur mit flüssigen photopolymeren Kunststoffen durchführen, sondern auch mit beispielsweise thermisch veränderbaren Flüssigkeiten oder Feststoffen wie auch Gasen, indem aus der Gasphase abgeschieden wird. So sind Verfestigungen des Schichtrohmaterials möglich, Schmelzvorgänge durchführbar, andere modifizierte Ausführungsformen denkbar, wie beispielsweise eine besondere Aktivierung oder Passivierung des Schichtrohmaterials. Das Schichtrohmaterial selbst kann somit flüssig, pulverförmig, wachsartig oder gasförmig sein.

[0019] Gegenüber Verfestigungen an der Oberfläche von flüssigen photopolymeren Kunststoffen, wie sie bei der bekannten Stereolithographie bewirkt werden, weist das erfindungsgemäße Verfahren den Vorteil auf, dass auch nunmehr nicht nur niedrigviskose, sondern auch hochviskose Materialien verwendbar sind. Bekanntlich tritt ein sog. Dewetting-Effekt auf, je dünner eine Flüssigkeit verteilt wird; d. h. die dünnverteilte Flüssigkeit zieht sich wieder zusammen, so dass Bereiche entstehen, die nicht mit Schichtrohmaterial bedeckt sind. Genau dies geschieht beim Wischen an der freien Oberfläche, wie sie bei der bekannten Stereolithographie notwendig ist. Würde man nun, um dem Dewetting-Effekt entgegenzuwirken, eine hochviskose Flüssigkeit einsetzen, so träte hierbei das Problem auf, dass aufgrund des beim Wischen entstehenden Geschwindigkeitsprofils sich eine unakzeptable Welligkeit ergeben würde, die sich auf die Baugeauigkeit äußerst nachteilig auswirken würde. Da beim erfindungsgemäßen Verfahren keine freie Oberfläche mehr vorhanden ist, treten die zuvor genannten Probleme nicht auf, so dass nunmehr auch hochviskose Materialien wie Kunststoffe, Harze und auch pulverförmige Festkörper verwendbar sind. Darüber hinaus ist dadurch, dass keine freie Oberfläche des Schichtrohmaterials vorliegt, auch eine Kontaktierung mit Umgebungsgasen vermeidbar, was insbesondere bei flüssigen photopolymeren Kunststoffen von Vorteil ist. Erstmals ist damit auch weit weniger Schichtrohmaterial bereitzustellen, da die Bäder weit weniger tief sein müssen als bisher, was durch die sehr teuren photopolymeren Kunststoffe hinsichtlich der notwendigen Bereitstellungskosten äußerst wichtig ist. Dadurch wird auch die Flexibilität des Verfahrens stark erhöht. So können nun verschiedene Materialien für verschiedene Schichten eingesetzt werden. Es ist auch möglich, kostengünstig verschiedene Stoffe, wie beispielsweise Farben oder Verstärkungsfasern, in flüssige Kunststoffe beizumischen, was aufgrund der hohen Kosten für die bisher notwendigen, großen Kunststoff- oder Harzmengen nicht wirtschaftlich durchführbar war. Da erstmals die zum Bau eines mehrschichtigen Körpers notwendige Schichtrohmaterialmenge weitaus geringer ist als bei den Verfahren, die mit einer freien Oberfläche arbeiten (Stereolithographie), ist es erstmals auch nicht notwendig, dass das Schichtrohmaterial eine chemische Langzeitstabilität aufweist. Bisher war es beispielsweise bei der Stereoli-

thographie notwendig, die Harze so zu gestalten, dass diese zumindest mehrere Wochen oder sogar Monate chemisch stabil sind. Ansonsten wäre keine wirtschaftliche Fertigung mit diesen sehr teuren Harzen möglich, die ja bekanntlich in großen Mengen in einer Stereolithographie-Maschine vorrätig sein müssen. Da bei der Erfindung weitaus weniger Schichtrohmaterial auf einmal einzusetzen ist, ist deren chemische Langzeitstabilität kein Kriterium mehr, so dass bisher aus wirtschaftlichen Erwägungen unbeachtete Materialien, die aber fertigungstechnische Vorteile haben, nunmehr zum Einsatz kommen können. So muß theoretisch das Material zur eine chemische Stabilität haben, die der Bauzeit einer Schicht entspricht.

[0020] Die wesentlichen Merkmale einer Vorrichtung zum Beschichten eines Substrates mit einer oder mehreren dünnen Schichten unter Verwendung einer Strahlungsquelle sind ein Substraträger, an dem das zu beschichtende Substrat anbringbar ist, ein dem Substrat gegenüberliegender Festkörper mit formveränderbarer Oberfläche sowie eine Strahlungsquelle zum Erzeugen einer Strahlung. Mit der Strahlung ist ein Schichtrohmaterial zwischen dem Substrat oder einer bereits anhaftenden Schicht und der formveränderbaren Festkörperoberfläche veränderbar und dadurch am Substrat oder einer bereits zuvor erzeugten Schicht anhaftbar. Schließlich ist eine Trennvorrichtung erforderlich, um die hergestellte Schicht von der formveränderbaren Festkörperoberfläche zu trennen.

[0021] Vorteilhafterweise ist das dem Substrat gegenüberliegende Element eine Folie, die beispielsweise plan gespannt ist, aber durch Druck oder Zug senkrecht zur Folien-ebene auslenkbar ist.

[0022] Grundsätzlich sind zwei Ausführungsformen der Vorrichtung denkbar. Bei der einen, die im Aufbau der US 4,801,477 ähnelt, ist die formveränderbare Festkörperoberfläche die Oberseite der Strahlungsquelle, die beispielsweise in einem flüssigen photopolymeren Kunststoff eingetaucht ist, der eine feste, starre Oberfläche gegenüberliegt und zwischen denen durch die Strahlung der Kunststoff in gewünschter Weise erhärtet wird. Bei dieser Anordnung kann das Schichtrohmaterial natürlich auch ein zu schmelzendes Pulver oder ein irgendwie gearteter Festkörper sein. Beispielsweise ist es auch möglich, Wachs etc. einzusetzen. Die andere Bauweise entspricht der in der US 5,089,184 gezeigten Anordnung (Fig. 2 dieses Standes der Technik), bei der an einem Substraträger mehrere Schichten erzeugt werden und die Strahlungsquelle unterhalb einer strahlungsdurchlässigen Platte angeordnet ist.

[0023] Erfindungsgemäß wird nun bei beiden Alternativen die starre Oberfläche des strahlungsdurchlässigen Teils durch eine formveränderbare Festkörperoberfläche ersetzt, wie beispielsweise eine Folie, die insbesondere dehnbar, flexibel oder elastisch ist.

[0024] Wie bei der US 5,089,184 ist es erfindungsgemäß möglich, dass als Strahlungsquelle ein Laser eingesetzt wird, der je nach dem verwendeten Schichtrohmaterial ausgestaltet ist und dessen Strahl in der gewünschten Weise durch eine Ablenkeinrichtung abgelenkt wird. Außerdem ist aber auch, wie es auch in der US 5,089,184 beschrieben ist, eine flächenbestrahlende Einrichtung als Strahlungsquelle einsetzbar, wobei dann eine Maske in dem Strahlengang angeordnet ist, um das gewünschte Muster in die herzustellende Schicht einzubringen. Die Maske selbst ist dann vorzugsweise in die Folie integriert, indem die Folie teilweise strahlungsdurchlässig, teilweise nicht strahlungsdurchlässig ist. Ein entsprechend wirkende Maske kann aber als separates Teil der formveränderbaren Festkörperoberfläche vorge-schaltet sein.

[0025] Grundsätzlich ist keine ursprünglich plan vorlie-

gende formveränderbare Festkörperoberfläche notwendig, es kann auch eine ursprünglich dreidimensionale Geometrie vorliegen, die dann beim Trennvorgang eine andere dreidimensionale Geometrie einnimmt.

[0026] Bei einer zuvor genannten Anordnung, bei der die strahlungsdurchlässige formveränderbare Festkörperoberfläche gleichzeitig einen Teil oder den ganzen Boden einer Aufnahmeeinrichtung für den Schichtrohstoff bildet, kann es vorteilhaft sein, als Stützelement eine strahlungsdurchlässige starre Unterlage einzusetzen, beispielsweise eine Glasplatte oder dergleichen. In diesem Fall kann es zur Unterstützung des Trennvorgangs zweckmäßig sein, zwischen das Stützelement und die darüberliegende Folie ein Fluid einzubringen. Unter Umständen kann der Einblasvorgang bereits vor oder nach dem Trennvorgang beginnen. Idealerweise wird er gleichzeitig mit Beginn des Trennvorgangs gestartet, d. h. beim Wegbewegen des Substratträgers oder der Oberfläche. Als Fluid ist insbesondere Luft einsetzbar, die unter Druck in den entstehenden Spalt zwischen dem Stützelement und einer der formveränderbaren Festkörperoberfläche gegenüberliegenden Seite eingebracht wird.

[0027] Es ist hier nochmals abschließend herauszustellen, dass grundsätzlich alle bekannten Beschichtungsverfahren, bei denen ein Schichtrohmaterial durch Einsatz von Strahlungsenergie in gewünschter Weise verändert wird, einsetzbar sind, wobei zwischen dem zu beschichtenden Teil und einer Gegenfläche – erfindungsgemäß die erstmals formveränderbare Schicht – die Schichtdicke und/oder das Schichtrelief begrenzt wird.

[0028] Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren ist die räumliche Anordnung dieses zu beschichtenden Teils und der Gegenfläche egal. So kann die zu beschichtende Oberfläche über oder unterhalb der Gegenfläche angeordnet sein. Genauso ist es aber auch möglich, die beiden Teile seitlich zueinander anzuordnen, so dass die herzustellende Schicht eine im wesentlichen vertikale oder irgendeinen anderen Winkel zu Horizontalen aufweist. Dies ist bei freien Oberflächen, wie sie bei der Stereolithographie notwendig sind, technisch ausgeschlossen. Durch die wahlweise räumliche Anordnung ist das erfindungsgemäße Verfahren an alle möglichen räumlichen und weiteren Bearbeitungssituationen anpassbar.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0029] Im Folgenden sind zur weiteren Erläuterung und zum besseren Verständnis der Erfindung mehrere Ausführungsbeispiele unter Bezugnahme auf die beigefügten Zeichnungen näher beschrieben und erläutert. Es zeigt:

[0030] Fig. 1 eine schematische Seitenansicht einer ersten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer ersten Betriebsphase,

[0031] Fig. 2 die in Fig. 1 gezeigte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer weiteren Betriebsphase,

[0032] Fig. 3 die in der Fig. 1 gezeigte Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung in einer weiteren Betriebsphase,

[0033] Fig. 4 die Ausführungsform der Fig. 1 in einer weiteren Betriebsphase,

[0034] Fig. 5 eine schematische Darstellung einer zweiten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

[0035] Fig. 6 eine schematische Darstellung einer dritten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

[0036] Fig. 7 die Vorrichtung der Fig. 6 in einer anderen Betriebsphase,

[0037] Fig. 8 eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung,

die der in der Fig. 1 gezeigten ähnelt, jedoch modifiziert ist,

[0038] Fig. 9 eine schematische Darstellung einer weiteren modifizierten Ausführungsform der in Fig. 8 gezeigten Vorrichtung,

[0039] Fig. 10 eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit flächenabstrahlender Strahlungsquelle,

[0040] Fig. 11 eine schematische Darstellung einer weiteren Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit dreidimensionaler, formveränderbarer Oberfläche eines dem Substrat gegenüberliegenden Elements,

[0041] Fig. 12 eine schematische Darstellung einer weiteren modifizierten Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung und

[0042] Fig. 13a)–d) mehrere schematische Querschnitte einer formveränderbaren Oberfläche, die ein Relief zur Ausbildung verschiedener Schichtdicken in einer Schicht hat.

#### Detaillierte Beschreibung von Ausführungsformen der Erfindung

[0043] Unter Bezugnahme auf die Fig. 1–4 wird eine erste Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung sowie ein erfindungsgemäßes Verfahren erläutert. Wie in der Fig. 1 schematisch dargestellt, umfasst die Vorrichtung einen Behälter für einen flüssigen photopolymeren Kunststoff 7. Der Behälter besteht hier aus einem Metallring oder Rahmen 1, der bodenseitig mit einer Folie 2 bespannt ist. Die Folienränder 21 sind an der Seitenwand des Metallrings 1 umgelegt und dort dichtend befestigt, beispielsweise mittels eines Klebebandes. Die Folie ist hier eine Silikon- oder PE-Folie, die eine Stärke von einigen  $\mu\text{m}$  bis einigen Millimetern, insbesondere ungefähr  $5\text{ }\mu\text{m}$ –1 mm hat. Sie ist faltenfrei im Rahmen 1 gespannt. Der Rahmen 1 ist um eine Mittelachse 11 drehbar gelagert (nicht gezeigt). Zum Drehen des Rahmens 1 um die Mittelachse 11 ist ein Reibrad 14 vorhanden, das durch einen nicht gezeigten Antrieb betrieben wird und an einer ebenfalls nicht dargestellten Steuerung angeschlossen ist.

[0044] Unterhalb des Behälters ist eine Ablenkeinrichtung in Form eines gesteuerten, beweglichen Spiegels 6 angeordnet, der zur gerichteten Ablenkung eines Laserstrahls 4, 5 dient. Der Laserstrahl wird von einer hier schematisch dargestellten Strahlungsquelle 3, beispielsweise ein UV-Laser, emittiert.

[0045] Über dem Behälter ist ein Substratträger 9 angeordnet, der in Z-Richtung mittels einer nicht gezeigten Steuerung verfahrbar ist. An dem Substratträger 9 ist ein Substrat 8 in Form einer Platte befestigt, die beispielsweise mehrere Durchgangslöcher haben kann oder gitterartig ausgebildet sein kann. Die Verstellbarkeit des Substratträgers 9 in Z-Richtung ist äußerst fein. Die Beschichtung des Substrates 8 erfolgt folgendermaßen, wie es auch aus den Fig. 1–4 ersichtlich ist. In den Behälter wird der flüssige photopolymere Kunststoff 7 eingefüllt. Die Füllhöhe über der Folie 2 muss hier nur wenig mehr als die gewünschte Schichtdicke der zu erzeugenden Schicht sein, was bedeutend weniger ist als bei einer Vorrichtung, die eine Erhärtung des flüssigen Photopolymers an einer freien Oberfläche durchführt, also mit einem Wischer arbeitet.

[0046] Der Substratträger 9 wird nach unten in das flüssige Photopolymer eingetaucht, und zwar soweit, dass der Abstand zwischen dem Substrat und der dem Substrat 8 zugewandten Oberfläche 2a gleich der Schichtdicke d der zu erzeugenden Schicht ist. Je nach der Viskosität des Schichtrohstoffes, hier der flüssigen photopolymeren Kunststoff 7, ist auch bei sehr dünnen Schichtdicken d beim Herunterfahren

des Substrates 8 gewährleistet, dass der Spalt zwischen den beiden gegenüberliegenden Elementen 8 und 2a vollständig mit Schichtrohmaterial 7 gefüllt ist. Bei hochviskosen Flüssigkeiten kann es unter Umständen zweckmäßig sein, mehrere Durchgangslöcher oder ein Gitter in dem Substrat 8 vorzusehen, die einen Durchtritt von Flüssigkeit zulassen, damit sich beim Eintauchen des Substrates 8 in den Schichtrohstoff 7 dieser vollständig, ohne Lufteinschlüsse zwischen der Folie 2 und dem Substrat 8 verteilen kann.

[0047] Ist die Schichtdicke  $d$  erreicht, wird der Laser 3 aktiviert und der Laserstrahl 4 mit Hilfe der Spiegeleinrichtung 6 in dem gewünschten Muster abgelenkt. Der abgelenkte Laserstrahl 5 trifft durch die Folie 2 hindurchtretend auf den flüssigen photopolymeren Kunststoff mit der Schichtdicke  $d$ . An denjenigen Stellen, an denen der Strahl auftritt, wird durch eine chemische Reaktion das Schichtrohmaterial 7 verändert, es verhärtet sich. Es entstehen erhärtete Bereiche 10, die an dem Substraträger 8 anhaften. Eine Anhaftung erfolgt auch an der Oberfläche 2a der Folie 2. Dort ist sie allerdings unerwünscht.

[0048] Es wird nun, wie bereits bei einem mehrschichtigen Modell in der Fig. 3 gezeigt, der Substraträger 9 von der Folie 2 wegbewegt. Durch die anfängliche starke Haftung der Oberfläche 2a an der gerade erzeugten Schicht 10 wird die Folie 2 aus ihrer ursprünglichen Lage ausgelenkt und nimmt die Lage 2' ein. Die Lage löst sich dann aber von der zuletzt erzeugten Schicht 10 ab und kehrt aufgrund der hier vorhandenen Flexibilität und Elastizität wieder in ihre Ursprungslage zurück. Dabei fließt flüssiger Kunststoff 7 in den entstehenden Spalt zurück. Durch Absenken des Substraträgers 9 und damit des Substrats 8 kann zwischen der Folienoberfläche 2a und der zuletzt erzeugten Schicht 10 erneut ein gewünschter Abstand  $d$ , der sich u. U. von dem vorherigen Abstand  $d$  unterscheidet, eingestellt werden. Durch erneute Aktivierung des Lasers kann dann eine weitere Schicht 10 gewünschten Musters erzeugt werden. Dieser letzte Zustand ist in der Fig. 4 gezeigt. Wie ersichtlich, ist ein mehrschichtiges Modell geschaffen, das irgendeine dreidimensionale Gestalt aufweisen kann und dessen Schichten 10 unterschiedliche Dicke  $d$  haben, je nach dem, wie der Abstand zwischen der Folienoberfläche 2a und der zuvor erzeugten Schicht 10 eingestellt wurde.

[0049] Bei der Einbringung des Laserstrahls 5 in den Schichtrohstoff 7 werden randseitig der erhärteten Bereiche 10 in dem flüssigen Photopolymer chemische Reaktionen bewirkt, so dass einzelne verfestigte, lose Teilchen, die nicht an der Schicht 10 haften, im flüssigen Photopolymerbad verbleiben. Um Qualitätseinbußen bei der darauffolgenden zu erzeugenden Schicht zu vermeiden, wird hier über das Reibrad 14 das gesamte Behältnis um einen gewissen Winkelbetrag gedreht. Das Drehen kann während, gleichzeitig oder auch kurz vor dem nach oben Bewegen des Supportträgers 9 beginnen. Damit ist gewährleistet, dass möglichst reiner Kunststoff für die neu zu erstellende Schicht 10 vorhanden ist. Wenn das Drehen gleichzeitig mit dem Hochfahren des Supportträgers 9 beginnt, oder kurz zuvor, wird das Abtrennen der erhärteten Schicht 10 von der Folienoberfläche 2 zusätzlich unterstützt.

[0050] Aus den obigen Erläuterungen zu dem Verfahren gemäß den Fig. 1–4 ist erkennbar, das natürlich nach jeder erzeugten Schicht 10 durch Austausch des Behältnisses auch ein anderes Schichtrohmaterial 7 für die Schichten 10 verwendet werden kann. So ist erstmals auch ein Körper aus mehreren Schichten aus unterschiedlichen Materialien herstellbar. Beispielsweise können auch verschiedene Farben dem jeweiligen Schichtrohmaterial 7 beige mischt werden, oder auch Zusatzstoffe wie Glasfasern, etc., um die Festigkeit des fertigen Modells zu erhöhen.

[0051] Aus der Fig. 5 ist eine weitere Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung ersichtlich. Hier ist ein Rahmen 1 bodenseitig mit der Folie 2 versehen. In der gezeigten X-Richtung sind verschiedene Abteile durch Unterteilungen 26 gebildet, die verschiedene Schichtrohstoffe 23, 24, 25 enthalten. Der gesamte Rahmen 1 mit der Folie und den verschiedenen Schichtrohmaterialien 23, 24, 25 ist in X-Richtung verschiebbar. So kann gemäß der zuvor erläuterten Verfahrensweise eine oder mehrere Schichten mit dem Schichtrohmaterial 23 am Substrat 8 gebildet werden. Dann wird ein anderes Schichtrohmaterial 24 unter das Substrat 8 verfahren und eine oder mehrere Schichten aus diesem Schichtmaterial 24 gefertigt. In gleicher Weise kann das Schichtrohmaterial 25 eingesetzt werden. Selbstverständlich ist es auch möglich, den Substraträger 9 nicht nur in Z-Richtung sondern auch in X-Richtung zu verfahren. Dabei bleibt der Behälter mit den verschiedenen Schichtrohmaterialien ortsfest. In dieser Figur ist die Strahlungsquelle 3 nicht dargestellt, das Verfahren ist aber ansonsten wie gemäß den Fig. 1–4 durchzuführen.

[0052] Aus den Fig. 6 und 7 ist eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung ersichtlich. Die hier schematisch dargestellte Vorrichtung umfasst eine als Endlosband ausgebildete Folie 30, die an Umlenkrollen 31 umläuft. Zwischen den zwei oberen Umlenkrollen 31 erstreckt sich ein ebener Folienabschnitt. Die Folienaußenseite 30a ist einem Substrat 8 an einem Substraträger 9 zugewandt. Wie bei den zuvor genannten Ausführungsformen ist hier der Substraträger 9 in Z-Richtung beweglich. Unterhalb der Folie 30 ist wiederum eine Strahlungsquelle vorhanden, deren Strahl 4 durch eine Umlenkeinrichtung 6 in gewünschter Weise auf das Substrat zu richten ist. In dem ebenen Flächenabschnitt der Folie 30 sind oberhalb der Folienoberfläche 30a mehrere Speichervorrichtungen 32, 33, 34 für verschiedene flüssige, feste, pulverförmige oder hochviskose Schichtrohmaterialien angeordnet. Je nach Bedarf wird aus den gezeigten Speichern 32–34 auf die Folienoberfläche 30a eine Schicht aufgebracht und durch eine Glättungseinrichtung 35 glattgestrichen, so dass die dann entstehende Schicht 36 auf der Folienoberfläche 30a eine vorbestimmte Dicke  $d'$  aufweist.

[0053] Durch Transport der Folie 30 in Pfeilrichtung wird diese Schicht 36 unter das Substrat 8 verfahren. Dann wird das Substrat 8 bzw. eine bereits erstellte Schicht 10 mit dieser Schicht berührend in Kontakt gebracht oder darin eingetaucht, wie es in der Fig. 7 gezeigt ist, je nachdem, welche Schichtdicke gewünscht wird. Dann wird die Strahlungsquelle 3 aktiviert und durch die Folie 30 hindurch der vorbestimmte Bereich des Schichtrohmaterial 36 durch die eingebrachte Strahlungsenergie so verändert, dass eine Beschichtung 10 mit gewünschtem Muster am Substrat 8 oder einer bereits zuvor aufgetragenen Schicht 10 hergestellt wird. Dann wird der Substraträger 9 mit dem Substrat 8 in Z-Richtung nach oben verfahren und das Folienband 30 weitertransportiert, wo über einen Abstreifer 38 das "verbrauchte" Schichtrohmaterial 37 vom Folienband 30 abgestreift und wieder aufbereitet oder unmittelbar wider der zugehörigen Speichereinrichtung 32–34 zugeleitet wird. Für die nächste Schicht kann dann das gleiche oder ein anderes Schichtrohmaterial aus einem anderen Speicher 32–34 auf das Folienband 30 aufgebracht werden. Indem die Einrichtung 35 ebenfalls in Z-Richtung verschiebbar ist, ist die gewünschte Schichtdicke  $d'$  einstellbar.

[0054] In der Fig. 8 ist eine modifizierte Ausführungsform der in den Fig. 1–4 gezeigten Vorrichtung schematisch dargestellt. Hier ist unterhalb der Folie 2 eine Glasplatte 12 vorhanden, die zur Abstützung der Folie 2 dient. Sie ist ebenfalls für den abgelenkten Laserstrahl 5 durchlässig. Ferner

weist diese Platte 12 eine oder mehrere Luftzuführungsöffnungen 13 auf, in die Luft oder ein anderes Fluid einbringbar ist, um während des Hochziehens des Substratträgers 9 das Fluid zwischen die Folie 2 und die Glasplatte 12 einzubringen, wodurch der Trennvorgang der erhärteten Schicht 10 aus Schichtrohmaterial 7 und der Folienoberfläche 2a noch zusätzlich unterstützt wird.

[0055] Bei der in der Fig. 9 dargestellten Ausführungsform ist die in der Fig. 8 gezeigte Vorrichtung dahingehend verändert, dass mehrere Laserquellen 3, 3' vorhanden sind, so dass mehrere Laserstrahlen zur Erzeugung einer Schicht gleichzeitig aktiviert werden, wodurch die Bearbeitungszeiten für die Herstellung einer Schicht verringert werden können oder auch unterschiedliche Materialien im Schichtrohmaterial gleichzeitig verändert bzw. bei verschiedenen Photopolymeren verhärtet werden können.

[0056] Im Gegensatz zu den vorhergehenden Ausführungsformen ist bei der in der Fig. 10 schematisch dargestellten Vorrichtung keine Strahlungsquelle mit einem Strahl 4, 5 eingesetzt, sondern eine Strahlungsquelle 3", die eine diffuse- oder flächige Ausstrahlung 4' bewirkt. Die Folie 2' ist hier als Maske ausgebildet, d. h. sie enthält Folienabschnitte 2b, die strahlungsdurchlässig sind und andere Abschnitte, die nicht strahlungsdurchlässig sind. Damit ist es möglich, ein vorbestimmtes Muster in der bereits zuvor erläuterten Weise durch chemische Veränderung des Schichtrohstoffs 7 am Substrat 8 zu erzielen. Die Folie selbst weist wiederum eine formveränderbare Oberfläche 2a auf, d. h. die Folie ist hier flexibel. Selbstverständlich ist es auch möglich, die Maske nicht in der Folie 2' zu integrieren, sondern in einer darunter liegenden Glasplatte, wie es beispielsweise auch in der Fig. 9 oder 8 gezeigt ist.

[0057] In der Fig. 11 ist schematisch eine Vorrichtung gezeigt, bei der ein zumindest im Bereich einer Oberfläche 40a elastischer oder flexibler Körper 40 als Aufnahmebecken für den Schichtrohstoff 43 dient und mit einer dreidimensionalen, formveränderbaren Oberfläche 40a ausgestattet ist. Der Körper besteht beispielsweise aus einem strahlungsdurchlässigen Silikongummi oder einem anderen strahlungsdurchlässigen, elastischen Kunststoff oder dergleichen. Durch den Körper 40 hindurch ist wiederum ein in gewünschter Weise abgelenkter Laserstrahl 5 in den Schichtrohstoff 43 einbringbar, so dass an einem Substrat 45, das an einem Substratträger 9 befestigt ist, eine dreidimensionale Schicht 44 erzeugt wird. Nach der Herstellung der Schicht 44 am Substrat 45 wird wiederum der Substratträger 9 in Z-Richtung nach oben verfahren, wodurch durch die elastische Ausbildung des Körpers 40 ein Nachgeben der Oberfläche 2a, das heißt eine Formveränderung, möglich ist, so dass der Trennvorgang zwischen der erhärteten Schicht 44 und der Oberfläche 40a erleichtert ist.

[0058] In der Fig. 12 ist eine weitere Ausführungsform einer erfindungsgemäßen Vorrichtung gezeigt. Hier erstreckt sich die Folie 2 längs eines länglichen Beckens mit flüssigem photopolymeren Kunststoff 7. Mit einer ersten Strahlungsquelle wird ein erster Bereich 10' erhärtet, allerdings ist die Energie des Laserstrahls 5 hier, so eingestellt, dass keine Erhärtung bis zur freien Oberfläche des Kunststoffes 7 erfolgt. Dann wird die Folie mit dem Bereich 10' weiterbewegt bis zum Substrat 8. Hier erfolgt in der zuvor beschriebenen Weise eine Erhärtung des noch flüssigen Materials 7 zwischen dem abgesenkten Substrat und dem bereits erhärteten Bereich 10'. Der Laserstrahl 5 wird dabei durch den zuerst gehärteten Bereich 10' geführt.

[0059] Schließlich zeigen die verschiedenen schematischen Querschnitte einer Folie gemäß der Fig. 13a)-d) verschiedene Oberflächengestaltungen einer Gegenfläche 50a-50d, die selbst natürlich verformbar ist, insbesondere ela-

stisch ist. So ist in der Fig. 13a) eine plane Oberfläche 50a gezeigt, die zur Herstellung einer Schicht 10a mit gleichmäßiger Dicke dient.

[0060] Die Fig. 13b) zeigt eine Oberfläche 50b mit Relief zur Bildung zweier verschiedener Schichtdicken  $d_1$  und  $d_2$ . Damit wird eine Schicht 10b mit verschiedenen Schichtstärken geschaffen.

[0061] Die Fig. 13c) zeigt schematisch eine Ausbildung der Oberfläche 50c, die nicht nur zur Bildung verschiedener Schichtdicken  $d_1$  und  $d_2$  dient, sondern ein richtiges Relief aufweist, mit dem verschiedene Konturen in der herzustellenden Schicht 10c ausgebildet werden.

[0062] Schließlich zeigt die Fig. 13d) eine Konfiguration, mit der dadurch, dass nicht nur die Folienoberfläche 10d ein Relief aufweist, sondern auch das zu beschichtende Substrat 8, eine Schicht 10d mit einem Relief auf zwei Seiten herstellbar ist.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zum Beschichten eines Substrats (8) mit einer oder mehreren dünnen Schichten (10) unter Verwendung einer Strahlungsquelle (3), bei dem

- a) ein Schichtrohmaterial (7) zwischen dem Substrat (8) und einer dem Substrat (8) gegenüberliegenden formveränderbaren Oberfläche (2a, 30a, 40a) eines Festkörpers (2, 30, 40) vorhanden ist,
- b) zumindest ein Teil des Schichtrohmaterials (7) durch geeignetes Einbringen von Strahlungsenergie (6) verändert wird und dadurch an dem Substrat (8) anhaftet und
- c) die nun am Substrat (8) anhaftende Schicht (10) von der formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) getrennt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Verfahrensschritte a)- c) wiederholt durchgeführt werden, wobei dann die Verfahrensschritte wie folgt abgewandelt werden:

- a') ein Schichtrohmaterial (7) ist zwischen der zuvor erzeugten Schicht (10) und der dem Substrat (8) gegenüberliegenden formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) vorhanden,
- b') das Schichtrohmaterial (7) wird durch geeignetes Einbringen von Strahlungsenergie (6) in der gewünschten Dicke (d) und dem gewünschten Muster verändert und haftet dabei an der zuvor erzeugten Schicht (10) an und
- c') die zuletzt hergestellte Schicht (10) wird von formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) getrennt.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen dem Substrat (8) und der formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) auf die gewünschte Schichtdicke (d) der herzustellenden Schicht (10) eingestellt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstand zwischen der einen Arbeitsschicht (10) und der formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) auf die gewünschte Schichtdicke (d) eingestellt wird.

5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Verfahrensschritt c) und/oder der Verfahrensschritt c') dadurch durchgeführt werden, dass der Abstand zwischen dem Substrat (8) und der formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) vergrößert wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Substrat (8) von der formveränderbaren



Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) wegbewegt wird oder die formveränderbare Festkörperoberfläche von dem Substrat (8) wegbewegt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Verfahrensschritt c) und/oder der Verfahrensschritt c') dadurch durchgeführt werden, dass das Substrat (8) und die formveränderbare Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) gegeneinander verdreht werden.

8. Verfahren nach Anspruch 3 und 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Verfahrensschritt c) und/oder der Verfahrensschritt c') dadurch durchgeführt werden, dass eine translatorische und eine rotatorische Bewegung des Substrats (8) und/oder der formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a) überlagert werden.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Folie (2), insbesondere eine elastische oder elastisch gelagerte Folie, verwendet wird, um so die formveränderbare Festkörperoberfläche (2a, 30a) bereitzustellen.

10. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die formveränderbare Festkörperoberfläche (2a, 30a) für die von der Strahlungsquelle (3) ausgehende Strahlung (4, 5) durchlässig ist und die Strahlung (4, 5) durch die strahlungsdurchlässige Festkörperoberfläche hindurch in das Schichtrohmaterial (7) eingebracht wird.

11. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Strahlungsquelle (3) ein Laser eingesetzt wird.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der Laserstrahl (4, 5) durch gesteuerte Strahlablenkung (6) in dem gewünschten Muster in das Schichtrohmaterial (7) gelenkt wird.

13. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass damit ein dreidimensionaler, aus einer Vielzahl von dünnen Schichten (10) erhärteten Materials gebildeter Körper hergestellt wird.

14. Vorrichtung zur Beschichtung eines Substrats (8) mit einer oder mehreren dünnen Schichten (10), mit einem Substratsträger (9), an dem das Substrat (8) anbringbar ist, einem dem Substrat (8) gegenüberliegenden Festkörper (2, 30, 40) mit formveränderbarer Oberfläche (2a, 30a, 40a),

einer Strahlungsquelle (3) zum Erzeugen einer Strahlung (4, 5), mit der ein Schichtrohmaterial (7) veränderbar und dadurch am Substrat (8) oder einer bereits zuvor erzeugten Schicht (10) anhaftbar ist, und einer Einrichtung zum voneinander Trennen einer hergestellten Schicht (10) von der formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a, 40a).

15. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Folie (2) vorhanden ist, deren eine formveränderbare Festkörperoberfläche (2a, 30a) dem Substrat (8) zugewandt ist.

16. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie (2) zumindest Teil eines Bodens eines Behälters (1) ist und die Strahlungsquelle (3) so angeordnet ist, dass deren Strahlung (4, 5) durch die Folie (2) in das Schichtrohmaterial (7) einbringbar ist.

17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14–16, dadurch gekennzeichnet, dass die formveränderbare Festkörperoberfläche (10) plan ist oder ein Relief aufweist.

18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15–17, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie (2) eine Dicke

von 1  $\mu$ –3 cm, insbesondere 2  $\mu$ –15  $\mu$  hat.

19. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Substratsträger (9) beweglich gelagert ist und eine Steuerung vorhanden ist, mit der der Substratsträger (9) entsprechend dem gewünschten Abstand zur formveränderbaren Festkörperoberfläche (2a, 30a) einstellbar ist.

20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 14–19, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle ein Laser (3) ist und eine Ablenkeinrichtung (6) vorhanden ist, mit der der vom Laser (3) ausgehende Strahl (4, 5) in der gewünschten Richtung ablenkbar ist.

21. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Strahlungsquelle eine flächenbestrahlende Einrichtung (3") ist und eine Maske in dem Strahlengang angeordnet ist.

22. Vorrichtung nach Anspruch 21, dadurch gekennzeichnet, dass die Maske in der Folie (3") integriert ist.

23. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass ein dreidimensionaler Festkörper (40) mit dreidimensionaler formveränderbarer Festkörperoberfläche (40a) vorhanden ist.

24. Vorrichtung nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie (2, 30) auf der nicht mit dem Schichtrohmaterial (7) in Kontakt kommenden Seite von einem Stützelement (12) unterstützt ist.

25. Vorrichtung nach Anspruch 24, dadurch gekennzeichnet, dass das Stützelement eine zumindest in einem Abschnitt strahlungsdurchlässige Platte (12) ist.

26. Vorrichtung nach Anspruch 24 oder 25, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung (13) vorhanden ist, mit der ein Fluid zwischen die Folie (2, 30) und dem Stützelement (12) einbringbar ist.

27. Vorrichtung nach Anspruch 26, dadurch gekennzeichnet, dass die Einrichtung (13) zum Einbringen eines Fluids zum Einblasen von Luft ausgebildet ist.

28. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 15–27, dadurch gekennzeichnet, dass die Folie als Endlosband (30) ausgebildet ist.

29. Vorrichtung nach Anspruch 28, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest eine Zuführeinrichtung (32, 33, 34) vorhanden ist, mit der ein Schichtrohmaterial (36) auf die Folie (30) aufbringbar ist.

30. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass eine Einrichtung vorhanden ist, mit der der Festkörper (2) mit formveränderbarer Festkörperoberfläche (2a) unterhalb des Substrats (8) um einen Längen- und/oder Winkelbetrag gegenüber dem Substrat versetzbar ist.

31. Vorrichtung nach Anspruch 30, dadurch gekennzeichnet, dass der Substratsträger (9) um einen Längen- und/oder Winkelbetrag gegenüber dem darunter befindlichen Schichtrohmaterial (7) versetzbar ist.

32. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Trenneinrichtung darin besteht, dass der Substratsträger (9) beweglich angeordnet ist.

33. Vorrichtung nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Trenneinrichtung darin besteht, dass die formveränderbare Festkörperoberfläche (10) gegenüber dem Substrat (8) wegbewegbar angeordnet ist.



Fig. 1

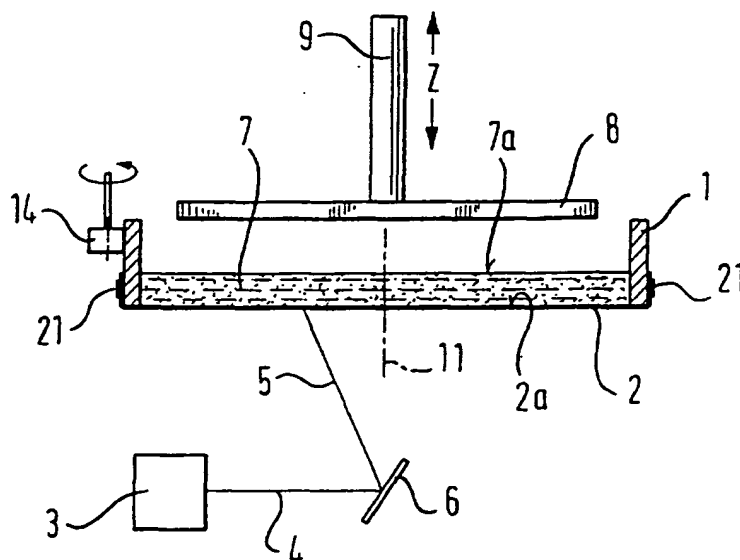


Fig. 2

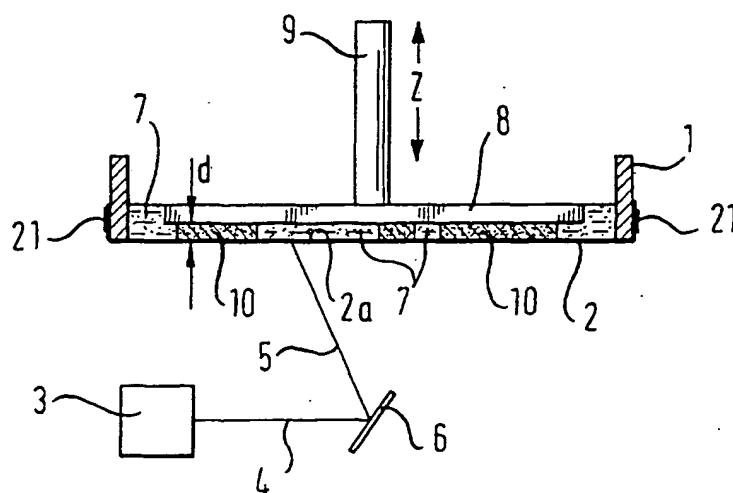


Fig. 3

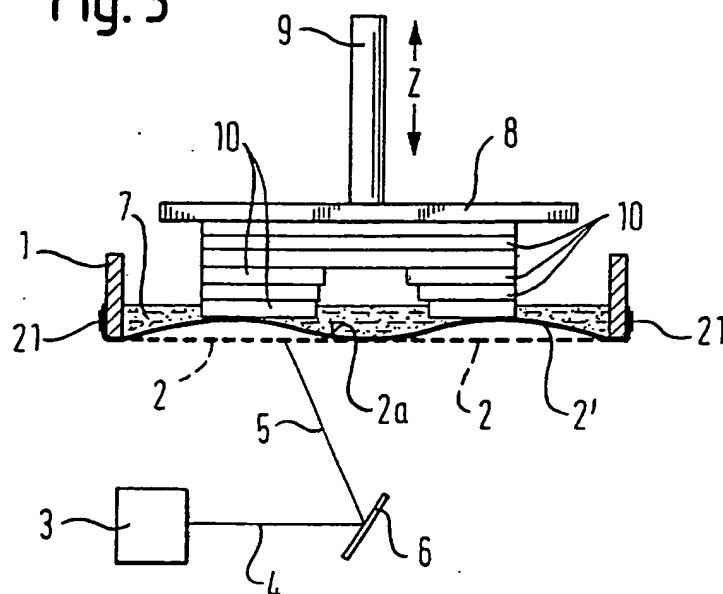
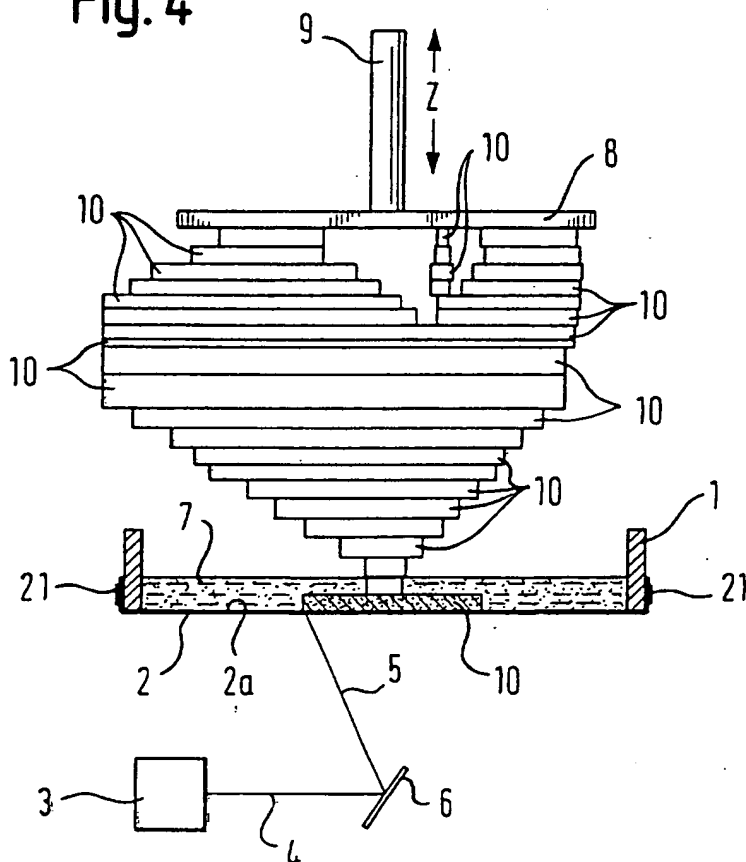


Fig. 4



**Fig. 5**

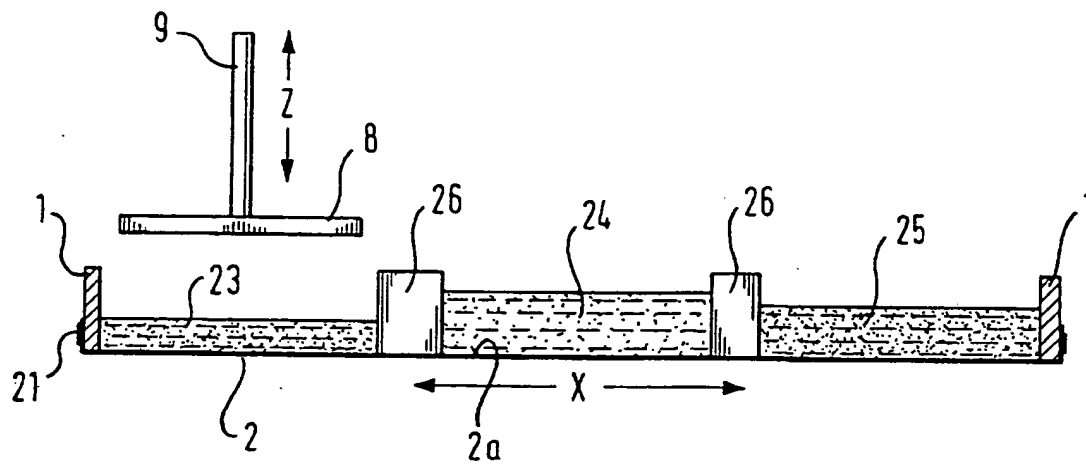


Fig. 6

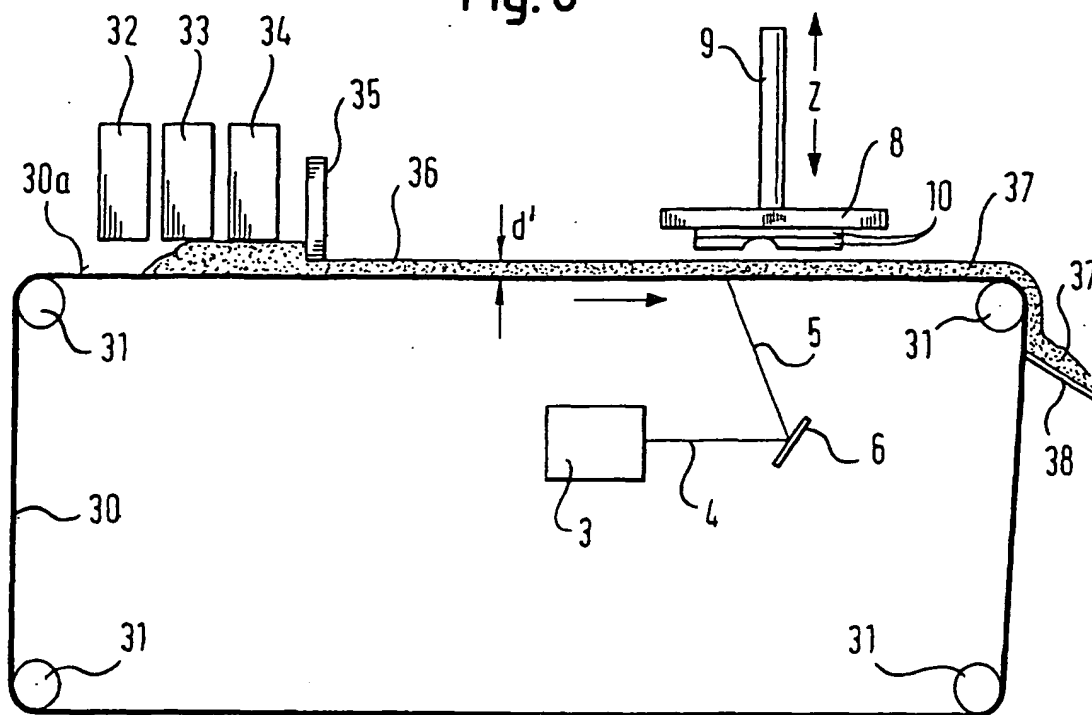


Fig. 7

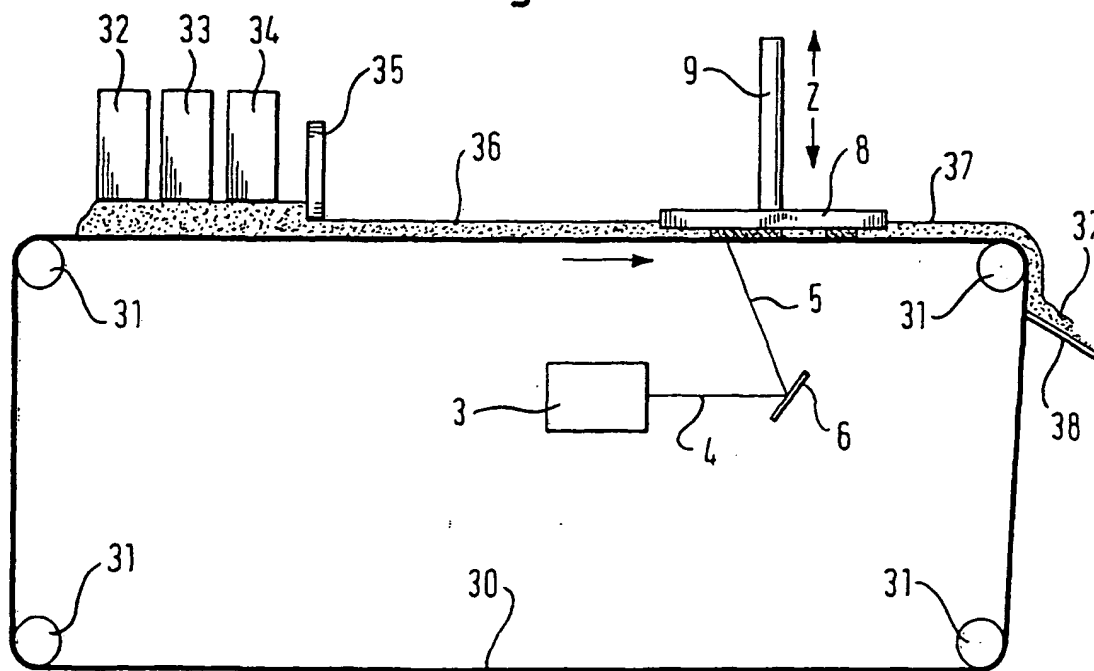


Fig. 8

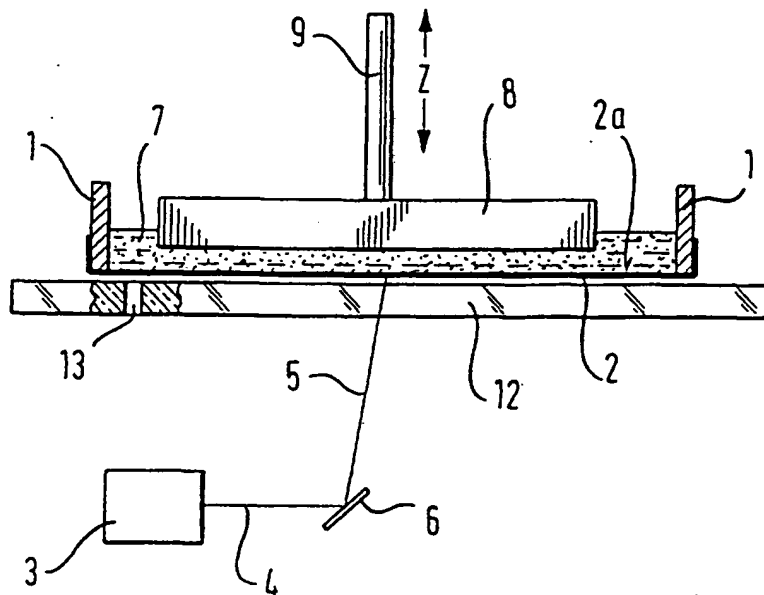


Fig. 9

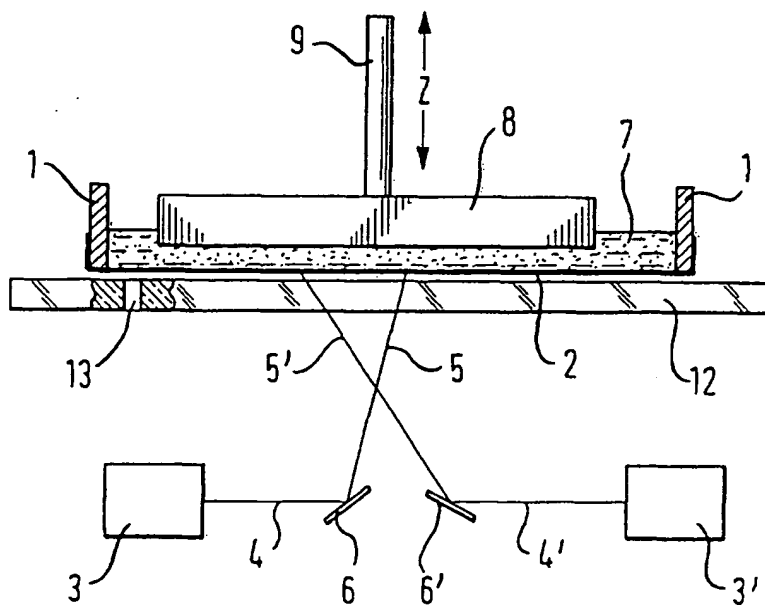
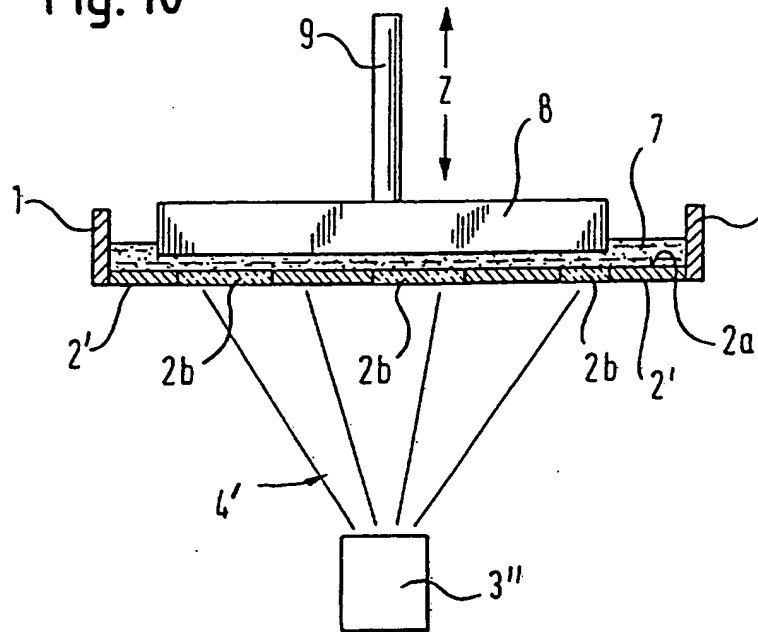
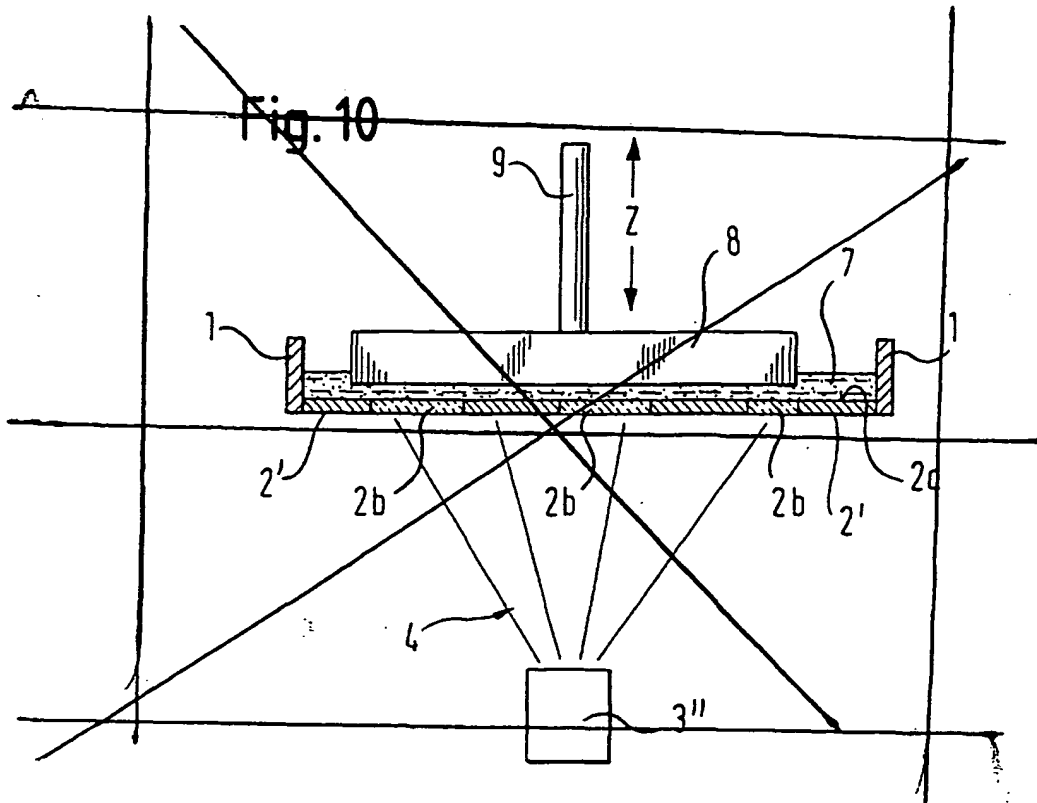


Fig. 10





**Fig. 11**

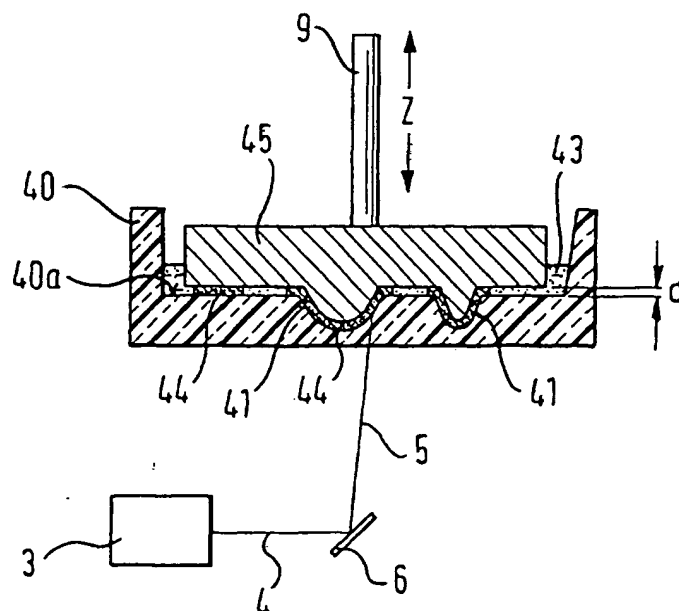




Fig. 12

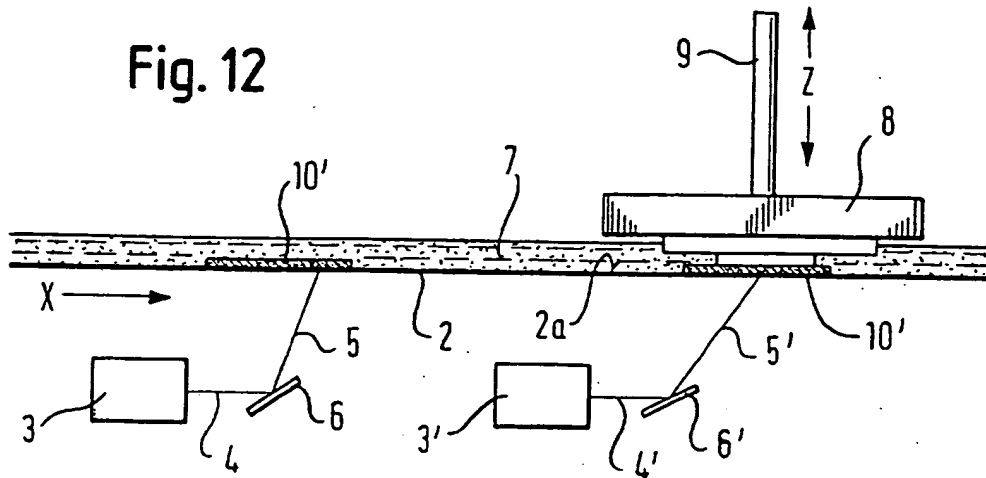


Fig. 13a

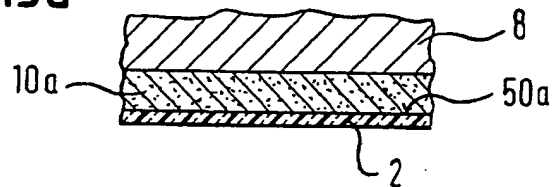


Fig. 13b

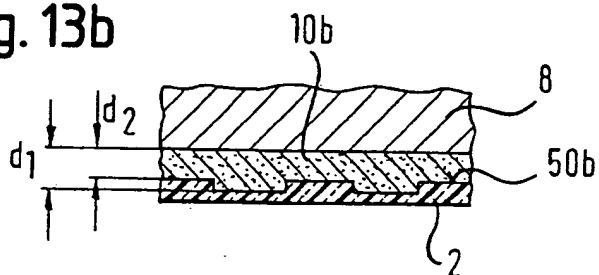


Fig. 13c

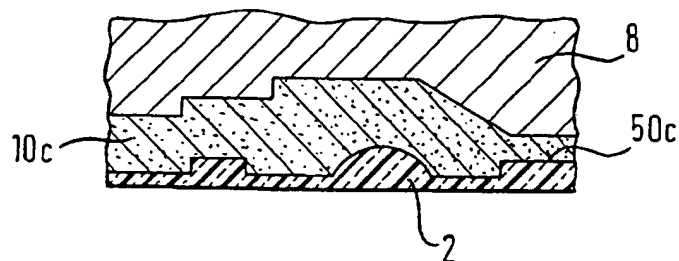
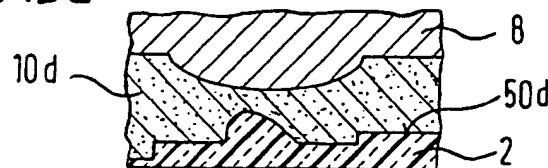


Fig. 13d



Translation of relevant parts of DE 199 57 370 C2

[0052] In Figs. 6 and 7 a further embodiment of an inventive device can be seen. The device, which is shown here schematically, comprises a foil 30 in the form of an endless sheet, which circulates on deviating rollers 31. A planar foil portion extends between the two upper deviating rollers 31. The exterior 30a of the foil faces a substrate 8 on a substrate mounting 9. Here, as in the above-mentioned embodiments the substrate mounting can be moved in Z direction. Below the foil 30 a radiation source is positioned having a beam 4 to be directed onto the substrate by a deviating device 6 as requested. In the flat part of the foil 30 several storage devices 32, 33, 34 for different fluid, solid, powdery or highly viscous coating raw materials are positioned above the surface 30a of the foil. According to requirements a layer is applied on the foil surface 30a from storages 32-34 and smoothed out by a flattening device 35 resulting in a coat 36 on the foil surface 30a having a predetermined thickness  $d'$ .

[0053] By a transport of the foil 30 in the direction of the arrow this layer 36 is moved underneath the substrate 8. Then, the substrate 8, respectively an already formed coat 10, is brought into a tangent contact with this coat or dipped into it depending on the requested coat thickness, as it is shown in Fig. 7. Then, the radiation source 3 is activated and the predetermined portion of the coating raw material 36 is altered through the foil by the inserted radiation energy for producing a coat 10 having a requested pattern at the substrate 8 or a previously applied coat 10. Then, the substrate

mounting 9 is moved upward together with the substrate 8 in a Z-direction and the foil ribbon 30 is conveyed forward, where the "used" coating raw material 37 is stripped off the foil ribbon 30 and recycled or immediately supplied to the respective storage device 32-34. For the next coat the same coating raw material can be applied on the foil ribbon or a different coating raw material from a different storage 32-34 can be applied. As the device 35 can also be moved in the Z-direction, the requested coat thickness  $d'$  is adjustable.